

Desain dan Implementasi Sistem *Visible Light Communication* berbasis *Pulse Width Modulation*

Angga Pradana¹, Syifaul Fuada², Trio Adiono³

Abstract— The design, implementation, and its evaluation of visible light communication (VLC) system using single pulse width modulation (1-PWM) is presented in this paper. The designed system consists of two primary blocks: VLC Coordinator that covers digital signal processing (DSP) device and analog front-end (AFE) transmitter whereas the VLC client covers the DSP device and AFE receiver. The Microcontroller STM32F4 development board was employed as the DSP device in this work, it was used for coordinator- and client-side. The VLC demo shows that real-time texts streaming with 10 kb of packet size can be performed well. Our VLC system can be used optimally in 50 to 70 cm of optical channel distance with 0 degrees. In other hands, the maximum bit-rate of this VLC system is limited to 3.3 kbps.

Intisari— Desain, implementasi, dan pengujian sistem komunikasi cahaya tampak menggunakan modulasi 1-PWM telah dibahas pada makalah ini. Sistem VLC terdiri atas dua blok utama: VLC coordinator yang meliputi DSP dan AFE transmitter. Sementara VLC client terdiri atas AFE receiver dan DSP receiver. Perangkat DSP pada penelitian ini adalah berbasis Mikrokontroler STM32F4 yang difungsikan untuk modulasi-demodulasi. Hasil demonstrasi menunjukkan bahwa streaming konten teks sebesar 10 kb dapat didemonstrasikan dengan baik. Sistem VLC dapat digunakan dengan optimal pada jarak 50 – 70 cm (sudut = 0°). Secara keseluruhan, laju data maksimum yang dicapai adalah 3,3 kbps.

Kata Kunci— Komunikasi cahaya tampak, Mikrokontroler STM32F4, PWM, Real-time streaming.

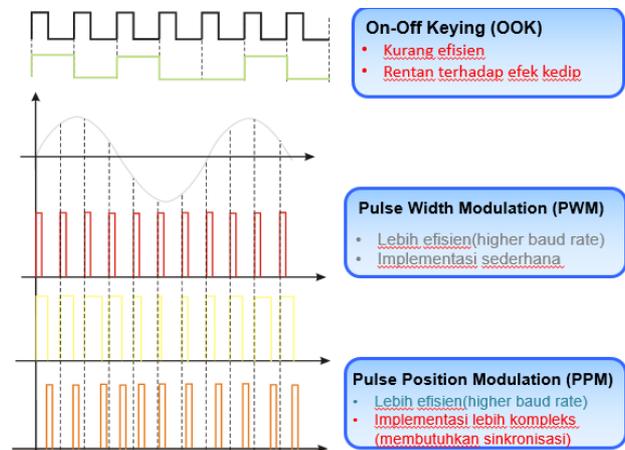
I. PENDAHULUAN

Medium bertukar informasi yang paling umum saat ini adalah dengan menggunakan frekuensi radio (RF), seperti Wi-Fi, Bluetooth, NFC, dan ZigBee. Teknologi interkoneksi *wireless* menggunakan gelombang RF tersebut memiliki keterbatasan dalam ketersediaan spektrum, selain itu efisiensi energi pancaran gelombang rendah, dan resiko kesehatan yang tinggi, kemudian juga isu tentang sekuritas komunikasi [1]. Sementara komunikasi optik seperti *fiber* seperti yang dilakukan oleh [2-3] memerlukan medium kabel serat optik untuk transmisi dan komunikasi *Infrared* rentan terhadap resiko kanker kulit manusia. Baru-baru ini *visible light communication* (VLC) tengah dikembangkan dan menuju tahap komersialisasi sebagai alternatif komunikasi nirkabel

[4]. Berbeda dengan *fiber* optik, medium VLC ada ruang hampa.

Gagasan dasar dari VLC adalah mentransmisikan data dengan memodulasikan sinyal cahaya tampak menggunakan alat penerangan komersial yang telah tersedia pada infrastruktur dalam ruang (*indoor*), yakni LED [5] dan fotodetektor dimanfaatkan sebagai penerima sinyal informasi. Semakin tinggi level iluminansi LED maka *received power* terhadap fotodetektor akan semakin besar dan begitu pula sebaliknya [6].

Sifat cahaya tampak adalah tidak dapat menembus objek padat seperti dinding, dengan demikian VLC adalah media komunikasi yang terbatas dalam area dan arah tertentu dan dianggap sebagai sebuah media komunikasi nirkabel yang lebih aman dari pada RF [7]. Fungsi utama sistem VLC adalah melakukan transmisi data dengan melakukan perubahan tingkat pendaran cahaya (*luminaries*) yang mana sistem VLC tersebut tidak boleh mempengaruhi fungsionalitas utama dari LED sebagai sumber penerangan dan tidak menimbulkan efek *flicker* atau *blink* [8]. Salah satu aspek penting untuk mewujudkan perangkat penerangan sekaligus sebagai perangkat komunikasi adalah pemilihan teknik modulasi yang mana *On-Off Keying* (OOK) merupakan jenis yang paling populer diimplementasikan pada VLC.



Gambar 1: Modulasi *binary level*

Gambar 1 merupakan komparasi modulasi OOK dengan modulasi digital lainnya, yakni *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Pulse Position Modulation* (PPM) merupakan jenis modulasi yang paling sederhana dimana data '0' dinyatakan dengan kondisi lampu menyala (*on*) sedangkan data '1' direpresentasikan dengan lampu mati (*off*) atau bisa sebaliknya. Karena data di-*encoded* dalam dua kondisi saja, maka OOK kurang efisien dalam memanfaatkan *bandwidth* [9]. Isu lain dalam penggunaan modulasi OOK ini adalah

^{1,2} Peneliti, University Center of Excellence on Microelectronics Institut Teknologi Bandung, Gd. PAU Lt IV, Jl. Tamansari No 126 Kampus ITB, Kota Bandung, Jawa Barat, 40132, INDONESIA; e-mail: syifaulfuada@pme.itb.ac.id

³ Dosen, STEI ITB, Jln. Ganesha No.10, Gd. LABTEK VIII, 40132, INDONESIA (e-mail: tadio@stei.itb.ac.id)



pengaruh terhadap fungsi pencahayaan. Pemanfaatan LED sebagai media komunikasi tidak boleh mengganggu fungsi LED tersebut sebagai sumber pencahayaan. LED tidak boleh mengalami efek *blinking* dan *dimming* selama proses komunikasi berlangsung. Pada modulasi OOK, kondisi LED akan sangat bergantung pada data yang akan ditransmisikan, apabila LED *driver* mendapatkan *input* berupa deretan data '0' sebanyak 1 *Byte*, maka LED akan berada dalam kondisi 'off' dalam waktu yang lebih lama sehingga kemungkinan timbul efek *dimming* dan *blinking* terhadap sistem pencahayaan dalam ruangan tersebut. Sementara PPM dan PWM mampu membawa beberapa bit data dalam setiap satu pulsa digital sehingga lebih hemat pemakaian *bandwidth* dibandingkan dengan OOK dan mampu mengontrol tingkat iluminasi cahaya LED yang stabil [10]. Namun, implementasi PPM lebih rumit daripada PWM.

Makalah ini merupakan *engineering design* yang mendiskusikan tentang rancang bangun sistem VLC untuk transmisi data-data rendah dalam *real-time* dengan modulasi PWM, yakni *streaming* konten multimedia berupa *text*.

II. METODE PERANCANGAN

Penelitian ini dikerjakan dalam beberapa tahap yaitu: 1) penentuan spesifikasi; 2) perancangan layer fisik sistem VLC yang terdiri atas *digital signal processing* (DSP), *analog front end* (AFE) *transceiver*, dan *Graphic User Interface* (GUI) yang terpasang pada komputer yang merupakan lapisan aplikasi; 3) demonstrasi dan evaluasi. Desain DSP mencakup pemilihan jenis modulasi yaitu PWM. Kemudian desain AFE *transceiver* mencakup LED *driver* topologi *switch* dan blok penerima.

A. Spesifikasi Sistem

VLC yang didesain terdiri atas koordinator dan *client* dengan topologi komunikasi *point-to-point* untuk keperluan *downlink* (satu arah) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. LED digunakan sebagai *antenna* sedangkan photodiode digunakan sebagai *receiver*. *Link* antara koordinator dan *client* ini disusun dengan konfigurasi *directed line-of-sight* (LOS) yakni perangkat penerima dihadapkan langsung dengan pemancar.

Pada bagian koordinator atas dari *personal computer* (PC), mikrokontroler, rangkaian AFE *transmitter* yang mencakup LED *driver* dan LED. Pada bagian *client* terdiri atas *photodetector* dan rangkaian AFE *receiver*, mikrokontroler dan PC. Jenis LED yang digunakan adalah *high-brightness* LED (HBLED) tunggal dengan daya tinggi dan warna putih karena warna ini sesuai digunakan sebagai sarana penerangan ruangan dibandingkan warna lain. Daya HBLED yang dipilih adalah maksimum 10 Watt sehingga dapat digunakan untuk berkomunikasi setidaknya dalam jarak 1 - 1,5 meter dan tetap aman untuk mata manusia. Sementara *photodetector* yang dipilih sebagai *receiver* adalah photodiode karena memiliki respon waktu yang paling cepat dibandingkan jenis *photodetector* lain seperti *Light Dependent Resistor* (LDR) dan phototransistor. Untuk menjamin realisasi infrastruktur VLC yang *low-cost*, maka Op-Amp *general purpose* digunakan sebagai *analog signal processing* kecuali pada blok *trans-impedance amplifier* (TIA) yang memakai *specific* OP-AMP. Tabel I merupakan spesifikasi dari komponen yang digunakan.

TABEL I
SPESIFIKASI TEKNIS HBLED, PHOTODIODE, DAN OP-AMP

Komponen	Spesifikasi
HBLED	Model: Coo Chip LEDMD-W110C Produksi: Hyrite Lighting.co Tegangan Kerja: 12 V _{DC} Daya: 9 Watt (maks.) Sudut pancaran: 178° Intensitas cahaya: 550 lumen λ: 380 – 760 nm
Photodiode	Model: SP-8ML Produksi: Kodenshi. Corp Luas penampang efektif (A _e): 7,4 mm ² λ: 450 – 1050 nm short circuit/ I _{SC} : 270 μA saat 1000 lux
OP-AMP <i>general purpose</i>	Model: LM358 Produksi: Texas Instrument.Inc Gain bandwidth Product: 1 MHz (G = 1 kali)
OP-AMP <i>specific purpose</i>	Model: AD8011AN Produksi: Analog Devices.Inc Gain bandwidth Product: 300 MHz (G = 1 kali) Rise/fall time: 0,4 ns



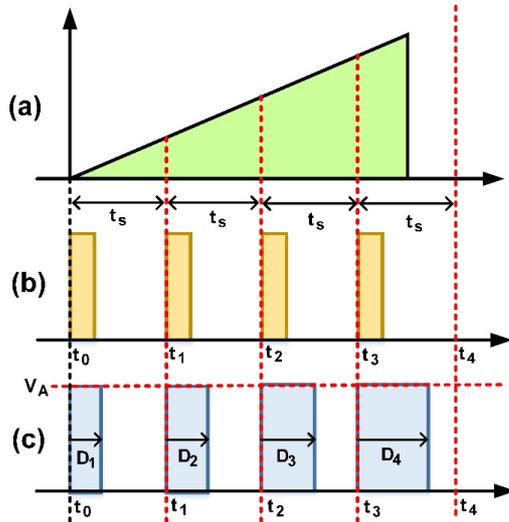
Gambar 1: Blok sistem VLC

Modulasi yang dipakai adalah PWM dengan pertimbangan karena mampu membawa lebih banyak *bit* dibandingkan OOK. PWM diimplementasikan pada modul mikrokontroler STM32F4 *discovery* yang merupakan suatu *development board* dengan mikrokontroler *Advanced RISC Machine* (ARM)

Cortex M4 [11]. Kecepatan clock dari *chip* STM32F407 maksimum adalah mampu mencapai 168 MHz sehingga ketika dipakai untuk *sampling* ADC data-data kecil seperti teks, sudah cukup memadai

B. Desain PWM

Pada skema modulasi PWM, data direpresentasikan dengan *duty cycle* (D) seperti ditunjukkan pada Gambar 3(c). Dengan memvariasikan lebar dan posisi pulsa, jenis modulasi PWM mampu membawa *multi-bit* data pada setiap periode simbolnya. Dalam hal ini, untuk membawa 2 *bit* data per periode simbol pada modulasi PWM, maka diperlukan empat *duty cycle level*, yakni D₁, D₂, D₃, D₄, dan empat level posisi T₁, T₂, T₃, T₄.



Gambar 3: Sinyal pulsa dari PWM: (a) Data analog terkuantisasi 2 bit; (b) pulsa *sampling*; (c) pulsa PWM, Gambar direproduksi ulang dari [8]

Karena *duty cycle* pada PWM bergantung terhadap data yang akan dikirim, maka tegangan rata-rata pada pulsa PWM akan menjadi fluktuatif yang dapat direpresentasikan pada persamaan (1). Saat $D \cdot T < t < T$, maka akan menjadi persamaan (2). Apabila PWM digunakan untuk memodulasi data digital 1 bit, maka untuk membedakan data '0' dan data '1' adalah dengan memvariasikan nilai D namun nilai D tersebut harus dipilih cukup lebar ketika diimplementasikan pada sistem VLC sehingga *noise margin* tinggi dan harus cukup sempit sehingga tidak menimbulkan efek *dimming* terhadap fungsi pencahayaan.

Implementasi modulasi PWM dalam *board* mikrokontroler STM32F4 disajikan pada lampiran makalah ini tentang *source code* untuk fungsi *encoding* dan *decoding*.

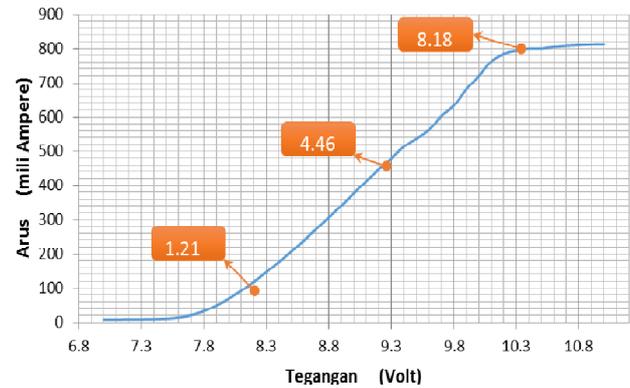
$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad (1)$$

$$\bar{v} = D \cdot v_{\max} + (1 - D)v_{\min} \quad (2)$$

C. Tegangan Kerja LED

Kurva karakteristik hubungan antara tegangan (*forward voltage*) dengan arus (*forward current*) dari HBLEDD produk *Hyrite Coo Chip* yang digunakan dalam Angga Pradana: Disain dan Implementasi sistem... 2503-2372

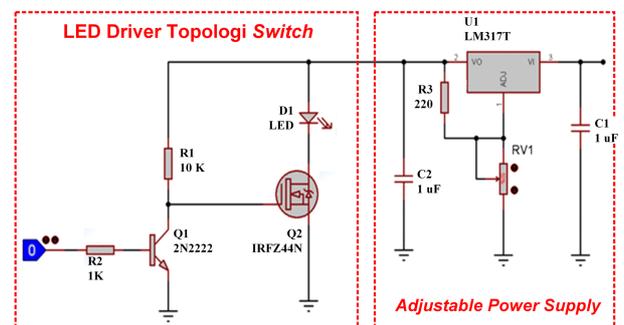
penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4. Dari grafik dapat diperhatikan bahwa bahwa LED mulai menyala (*turn-on condition*) idealnya pada tegangan 7,8 V_{DC} minimum dan maksimum pada 10,3 V_{DC}. Informasi ini dapat diperoleh dengan melihat pada *datasheet* atau karakterisasi sendiri dengan eksperimen untuk mencari hubungan keduanya [12-13]. Data karakteristik ini dijadikan acuan dalam merancang LED *driver*.



Gambar 4: Kurva hubungan tegangan (V) terhadap arus (mA) dari modul HBLEDD Coo Chip MD-W110C

D. Desain Modul AFE transmitter

Modulasi PWM merepresentasikan angka '1' dan '0' sehingga LED *driver* yang sesuai adalah jenis *switch* karena hanya mengkondisikan menyala (*on*) dan padam (*off*) saja [14]. Rancangan *switch* LED *driver* ditunjukkan pada Gambar 5 yang mana terdiri atas dua transistor. Transistor BJT Q1 (2N2222) digunakan untuk menguatkan tegangan keluaran mikrokontroler STM32F4. Sementara transistor MOSFET Q2 (IRFZ44N) digunakan untuk menguatkan arus. Rangkaian LED *driver* dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki prinsip kerja sebagai berikut: ketika kondisi LED menyala, maka sinyal digital termodulasi akan menghasilkan logika "0", begitu pula sebaliknya.



Gambar 5: Rangkaian LED *driver* dan *power supply*

Untuk keperluan pengujian, maka rangkaian LED *driver* untuk modulasi PWM ini dilengkapi dengan



sumber tegangan variabel sehingga level iluminasi HBLED dapat divariasikan dari kondisi sangat terang ke kondisi sebaliknya. Komponen utama sumber tegangan variabel ini adalah U2 (IC LM317) yang merupakan regulator tegangan yang dapat disetel tegangan keluarannya. Berdasarkan grafik pada Gambar 4, maka dapat disimpulkan bahwa tegangan kerja efektif dari LED ini berkisar antara $7,8 - 10,3 V_{DC}$. Kemudian, V_{out} dari LM317 dapat diubah dengan mengatur resistansi RV_1 sesuai persamaan (3).

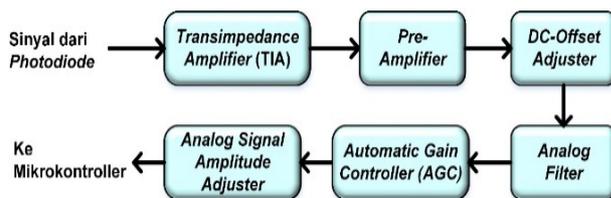
$$V_o = V_{ref} \left(1 + \frac{RV_1}{R_3} \right) + I_{adj} RV_1 \quad (3)$$

Pada umumnya nilai $V_{ref} = 1,25 V_{DC}$ dan $I_{adj} = 50 \mu A$. Dengan mengacu pada persamaan (3), apabila dipilih nilai $R_3 = 470 \Omega$, maka untuk mengeluarkan tegangan kerja minimum dari HBLED sebesar $7,8 V_{DC}$ nilai RV_1 adalah $2,52 k\Omega$. Sedangkan untuk mengeluarkan tegangan kerja maksimum dari LED sebesar $10,3 V_{DC}$, maka nilai RV_1 adalah $3,34 V_{DC}$.

E. Desain Modul AFE Receiver

AFE receiver terdiri atas beberapa blok, pertama adalah TIA yang berfungsi sebagai *I-V converter*, yakni mengubah arus *photodiode* (I_{PD}) menjadi tegangan (V_{TIA}) [15]. Selanjutnya *Pre-amplifier* sebagai penguat tegangan tahap pertama karena *amplitude* dari V_{TIA} masih terlalu kecil. Selanjutnya *DC-Offset Adjuster* untuk menghilangkan tegangan DC, karena *photodiode* tidak hanya menerima cahaya dari HBLED melainkan sumber DC dari cahaya lain/*ambient light* yang mana harus dihilangkan karena berpotensi menyebabkan cacat sinyal karena dampak saturasi OP-AMP pada AFE receiver [16-18]. Blok berikutnya adalah *filter analog* untuk mengkompensasi gangguan dari *incandescent* dan *fluorescent* [19].

Blok *automatic gain controller* (AGC) difungsikan agar sistem VLC memiliki mobilitas yang memadai sebagaimana fungsi komunikasi nirkabel, artinya tetap berfungsi dengan baik ketika jarak kanal optik dan sudut orientasi penerimaan divariasikan [20] dan terakhir adalah *analog signal amplitude adjuster* yang merupakan rangkaian komparator *hysteresis* untuk mengkondisikan agar tegangan *input* ke mikrokontroler STM32F4 dalam *form* sinyal digital dari *level* tegangan $0 - 3,3 V_{DC}$.



Gambar 6: Blok AFE receiver

F. Prosedur Evaluasi

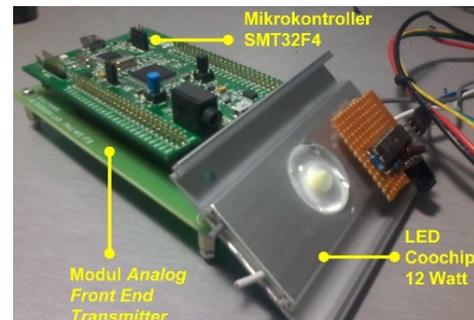
Terdapat dua bentuk evaluasi yakni yang dilakukan, yakni demonstrasi dan pengukuran *bit-error rate* (BER). Demonstrasi bertujuan untuk mengetahui fungsionalitas dari performa sistem VLC yang telah dirancang. Sedangkan pengukuran BER untuk mengukur tingkat kehandalan sistem secara kuantitatif dengan pengubahan sudut orientasi modul *client* terhadap *coordinator*. Pengukuran dilakukan untuk mengirim data secara *point-to-point* melalui perangkat PC.

III. HASIL DAN ANALISIS

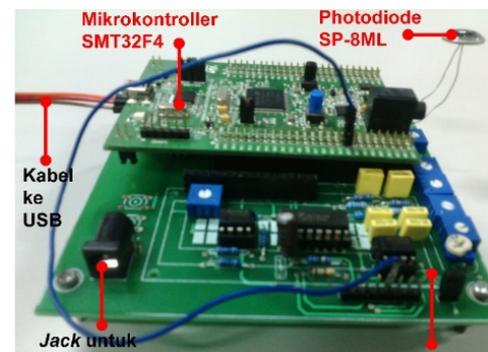
A. Implementasi Sistem

Gambar 7 adalah prototip modul *VLC coordinator* yang merupakan realisasi *hardware* dari Gambar 2(a). Modul terdiri atas *board* mikrokontroler STM32F4, AFE transmitter dan HBLED Coo Chip LEDMD-W110C. Modul ini berfungsi sebagai pengirim informasi ke *VLC client* (Gambar 8) melalui medium cahaya tampak.

Prototip *VLC client* terdiri atas *board* mikrokontroler STM32F4, *photodiode* SP-8ML, dan AFE receiver. Modul ini berfungsi sebagai penerima informasi dari *VLC coordinator*, kemudian data-data yang diterima akan ditampilkan pada PC melalui koneksi *via* USB. Sedangkan GUI dibangun menggunakan program *Delphi 7.0 version*.



Gambar 7: Modul *VLC coordinator*



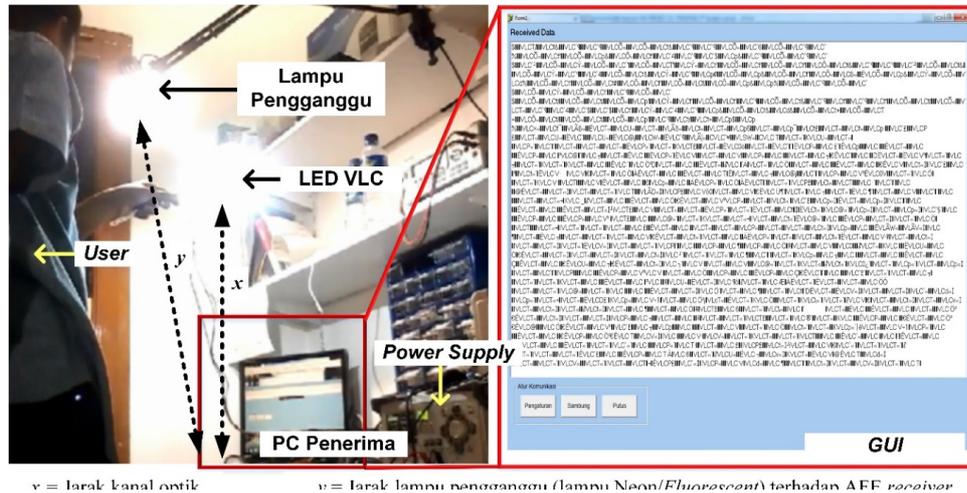
Gambar 8: Modul *VLC client*

B. Demonstrasi Streaming Pengiriman Teks

Adapun skenario demonstrasi sistem mengacu pada Gambar 2, yakni *VLC client* dihadapkan langsung ke *VLC coordinator* selama proses *streaming* data berlangsung dalam jarak 30 cm. HBLED diatur dengan

daya maksimum 9 Watt dan tanpa pemakaian lensa pemfokus serta lensa warna ada bagian *VLC client*. Konten yang dikirim adalah berupa teks dari PC koordinator ke PC *client* lewat cahaya tampak. Berdasarkan hasil pembuktian kinerja, sistem VLC

yang dirancang dapat berfungsi sesuai ekspektasi yakni mampu mentransmisikan konten teks secara *real-time* bahkan dalam keadaan ekstrim (didekatkan dengan lampu pengganggu *fluorescent* atau lampu neon).



Gambar 9: Foto demonstrasi *streaming* teks via cahaya tampak

C. Pengujian BER

Untuk mengetahui profil BER, berikut merupakan *setup* eksperimen yang dilakukan: 1) Kondisi ruangan 0 lux; 2) jarak kanal optik divariasikan yakni: 30 cm, 50 cm, 70 cm, 90 cm, 110 cm, 130 cm, dan 150 cm dengan sudut 0°. Sementara perubahan orientasi sudut dilakukan pada jarak tetap 60 cm dengan 0°, 5°, 10°, 30°, 40°, dan 50°; 3) Perhitungan BER dengan mengirimkan teks sebanyak 10 kb dari PC *coordinator* ke PC *client* dengan modulasi 1-PWM.

Perhitungan BER untuk pengujian sistem VLC ini adalah dengan membandingkan data yang terkirim (*transmitted data*) dengan data yang diterima (*received data*) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (4).

$$BER = \frac{\text{Data diterima}}{\text{Data terkirim}} \quad (4)$$

Dengan demikian, semakin nilai BER mendekati satu (BER = 1) maka potensi *error* data yang diterima akan semakin besar. Dapat diperhatikan pada Tabel II bahwa ketika pada jarak 30 cm data tidak diterima sama sekali, karena level iluminansi yang diterima oleh *photodiode* besar yang mengakibatkan sinyal *output* dari rangkaian TIA saturasi atau sinyal informasi cacat karena terpotong. Begitu pula sebaliknya, semakin jauh jarak kanal optik maka data akan semakin memiliki nilai *error* yang besar atau tidak diterima sama sekali karena level iluminansi yang diterima oleh *photodiode* semakin lemah.

TABEL III
 PENGARUH BER TERHADAP PENGATURAN GAIN A

Jarak	BER 1-PWM
30	1
50	0,004
70	0,0005
90	0,001
110	0,005
130	0,04
150	1

Selanjutnya dilakukan pengaturan *gain* pada bagian AFE *receiver* untuk menyesuaikan level iluminansi dari HBLED. Tabel III menunjukkan bahwa *gain* mempengaruhi kinerja sistem/menurunkan nilai BER dan mengkompensasi efek kanal optik yang terlalu dekat.

Hasil pengamatan dengan pengaturan *gain* B pada sudut 0° ini menunjukkan bahwa jarak ideal untuk sistem VLC yang dirancang adalah 50 – 70 cm. Tabel IV merupakan hasil pengujian ketika sudut penerimaan terhadap HBLED diubah-ubah, dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem VLC mampu dimobilisasi dengan baik sampai sudut 50° dengan jarak kanal optik 60 cm.

TABEL IIIII
 PENGARUH BER TERHADAP PENGATURAN GAIN B

Jarak	BER 1-PWM
20	0,00056



30	0,00089
40	0,0012
50	0,0025
60	0,007
70	0,1

TABEL IVV
PENGARUH BER TERHADAP PENGUBAHAN SUDUT

Sudut Penerimaan	BER 1-PWM
0°	0,0005
5°	0,002
10°	0,004
30°	0,012
40°	0,025
50°	0,1

Laju kecepatan data maksimum yang diperoleh sistem VLC dengan menggunakan modulasi 1-PWM ini adalah 3300 bps. Dengan *bitrate* tersebut, maka sistem VLC hanya cukup untuk mengirimkan karakter atau teks dan belum mampu dipergunakan untuk mengirimkan video berkualitas *high definition* (HD). Hal ini karena penulis menggunakan *general OP-AMP 741* sebagai *analog signal processing* disemua sistem dimana tipikal *bandwidth product* dari OP-AMP jenis ini adalah maksimal 1 MHz.

IV. KESIMPULAN

Sumber cahaya LED warna putih dapat dimanfaatkan untuk sistem VLC yang mana LED warna putih tersebut telah banyak digunakan sebagai infrastruktur penerangan yang ada saat ini. Dengan demikian, LED pada lingkungan *indoor* tersebut dapat berfungsi ganda yakni *illumination* sekaligus *communication* tanpa mengurangi fungsi utama dari LED itu sendiri sebagai penerangan. Penelitian ini mengimplementasikan sistem VLC untuk *downlink* dengan menggunakan modulasi 1-PWM. Perangkat DSP yang digunakan berbasis mikrokontroler menggunakan *development board STM32F4*. Pemilihan modulasi PWM adalah mampu membawa lebih banyak bit dalam satu pulsa dibandingkan dengan OOK serta memberikan akses komunikasi tanpa menimbulkan efek peredupan level iluminansi (*dimming*) dan kedipan lampu LED secara simultan (*flickering/blinking*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat melakukan *streaming* teks secara *real-time*. Jarak kanal optik optimum adalah 50 cm sampai 70 cm pada sudut 0°. Rendahnya *bit-rate* yang didapatkan, yakni 3,3 kbps, karena salah satu penyebabnya adalah komponen elektronik pada AFE *transceiver* yang menggunakan *general OP-AMP*. Meskipun demikian, target realisasi infrastruktur VLC yang *low-cost* dapat dikejar dalam penelitian ini.

Untuk mendapatkan laju kecepatan data lebih tinggi, diperlukan pemilihan DSP yang lebih baik, dalam hal ini dapat menerapkan *board FPGA* pada sistem VLC. Kemudian komponen-komponen elektronika yang dipilih untuk AFE *transceiver* harus memiliki karaktersitik/spesifikasi khusus, terutama *transistor* dan OP-AMP, serta diperlukan skema

modulasi yang membawa lebih banyak bit dibandingkan 1-PWM, dalam hal ini bisa merealisasikan 2-PWM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh dana Hibah Penelitian dari KEMRISTEKDIKTI melalui skema Kerjasama Luar Negeri (KLN) kolaborasi dengan *Pukyong National University-Korea Selatan*, judul proyek penelitian "*Machine to machine communication (M2M) based on visible light communication (VLC)*" (No. Kontrak: 009/SP2H/LT/DRPM/IV/2017).

REFERENSI

- [1] D. Karunatilaka, F. Zafar, V. Kalavally, "LED Based Indoor Visible Light Communications: State of the Art," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, Vol. 17(3), pp. 1649-1678, 2015.
- [2] A.A.E. Paramita, G. Sukadarmika, and P.K. Sudiarta, "Analisis kualitas jaringan lokal akses fiber optic pada Indihome PT. Telkom di area Jimbaran," *J. Teknologi Elektro*, Vol. 16(1), pp. 1-5, 2017.
- [3] I.P.G.Y. Pratama, G. Sukadarmika, and P.K. Sudiarta, "Perancangan jaringan *fiber to the home* (FTTH) menggunakan teknologi *gigabyte passive optical network* (GPON) pada *mall park23* Tuban," *J. Teknologi Elektro*, Vol. 16(2), pp. 60-65, 2017.
- [4] M. Figueiredo, L.N. Alves, and C. Ribeiro, "Lighting the Wireless World," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, pp. 28-37, October 2017.
- [5] T. Adiono, S. Fuada, and S. Harimurti, "Bandwidth Budget Analysis for Visible Light Communication Systems utilizing Commercially Available Components," *Proc. of the 10th Int. Conf. on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, pp. 1375-1380, December 2017.
- [6] S. Fuada, A.P. Putra, and T. Adiono, "Analysis of Received Power Characteristics of Commercial Photodiodes in Indoor LoS Channel Visible Light Communication," *Int. J. of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, Vol. 8(7), pp. 164-172, July 2017. DOI: [10.14569/IJACSA.2017.080722](https://doi.org/10.14569/IJACSA.2017.080722).
- [7] S. Fuada, "Kajian Aspek *Security* pada Jaringan Informasi dan Komunikasi Berbasis *Visible Light Communication*," *J. INFOTEL*, Vol. 9(1), pp. 108-121, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.20895/infotel.v9i1.163>.
- [8] S. Rajagopal, R.D. Roberts, and S-K. Lim, "IEEE 802.15.7 Visible Light Communication: Modulation Schemes and Dimming Support," *IEEE Communications Magazine*, March 2012.
- [9] A. Pradana, "Rancang Bangun Layer Fisik Komunikasi Cahaya Tampak Berbasis DC-OFDM dan PWM," Master Thesis, ITB, Indonesia, 2016.
- [10] A. Pradana, et al., "VLC Physical Layer Design based on Pulse Position Modulation (PPM) for Stable Illumination," *Int. Symp. on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS)*, pp. 368-373, November 2015.
- [11] STM32F4 Series, "STM32F4 series of high-performance MCUs with DSP and FPU instructions. [Online] <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32f4-series.html?querycriteria=productId=SS1577>
- [12] S. Fuada, T. Adiono, A. P. Putra, and Y. Aska, "A Low-cost Analog Front-End (AFE) Transmitter Designs for OFDM Visible Light Communications," *Proc. of the IEEE Int. Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, pp. 371-375, October 2016. DOI: [10.1109/ISESD.2016.7886750](https://doi.org/10.1109/ISESD.2016.7886750).
- [13] S. Fuada, and T. Adiono, "Rancang Bangun Layer Fisik Visible Light Communication Pada Sistem Transmisi Audio," *J. INFOTEL*, Vol. 9(3), pp. 352-360, August 2017. DOI: <https://doi.org/10.20895/infotel.v9i3.288>.
- [14] T. Adiono, S. Fuada, A.P. Putra, and Y. Aska, "Desain Awal *Analog Front-End Optical Transceiver* untuk aplikasi *Visible Light Communication*," *J. Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, Vol. 5(4), pp. 319-327, November 2016. DOI: [10.22146/jnteti.v5i4.280](https://doi.org/10.22146/jnteti.v5i4.280).
- [15] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska, and T. Adiono, "Trans-impedance Amplifier (TIA) Design for Visible Light Communication (VLC) using Commercially Available OP-AMP," *Proc. of the 3rd Int. Conf. on*

Information Tech. Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), pp. 31-35, October 2016. DOI: [10.1109/ICITACEE.2016.7892405](https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892405).

[16] S. Fuada, A.P. Putra, Y. Aska and T. Adiono, "A First Approach to Design Mobility Function and Noise Filter in VLC System Utilizing Low-cost Analog Circuits," *Int. J. of Recent Contributions from Engineering, Science, and IT (iJES)*, Vol. 5(2), pp. 14 – 30, 2017. DOI: [10.3991/ijes.v5i2.6700](https://doi.org/10.3991/ijes.v5i2.6700).

[17] T. Adiono, and S. Fuada, "Investigation of Optical Interference Noise Characteristics in Visible Light Communication System," *Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, pp. 612-615, December 2017.

[18] T. Adiono, and S. Fuada, "Investigation of Optical Interference Noise Characteristics in Visible Light Communication System," *Proc. of the 2017 Int. Symp. on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA)*, pp. 612-615, December 2017.

[19] T. Adiono, A. Pradana, R.V.W. Putra, and S. Fuada, "Analog Filters Design in VLC Analog Front-End Receiver for Reducing Indoor Ambient Light Noise," *Proc. of the IEEE Asia Pacific Conf. on Circuit and Systems (APCCAS)*, pp. 581-584, October 2016. DOI: [10.1109/APCCAS.2016.7804058](https://doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804058).

[20] S. Fuada, R.A. Saputro, and T. Adiono, "Automatic Gain Control Circuit for Mobility Visible Light Communication System using LM13700" *Proc. of the IEEE Int. Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, Yogyakarta, Indonesia, October 2017.

LAMPIRAN

Source code untuk fungsi encoding 1-PWM

```

unsigned int fungsi_1PWM(char data_PWM) {
    unsigned int pwm0, pwml;

    if (PWM_speed == 3) {
        pwm0 = 1500; pwml = 900;
    }
    else if (PWM_speed == 2) {
        pwm0 = 550; pwml = 320;
    }
    else if (PWM_speed == 1) {
        pwm0 = 170; pwml = 100;
    }
};

if (data_PWM == 0) {
    return pwm0;
}
else if (data_PWM == 1) {
    return pwml;
};
}

void modulasi_1PWM(char data_PWM) {
    char data_buffer[9];
    unsigned int PWM1_termodulasi[9];
    unsigned char indeks;
    unsigned int space, header, stop;

    if (PWM_speed == 3) {
        space = 800; header = 2000, stop=2500;
        //speed 3
    }
    else if (PWM_speed == 2) {
        space = 250; header = 780, stop=1000;
        //speed 2
    }
    else if (PWM_speed == 1) {
        space = 150; header = 250, stop=360;
        //speed 1
    };

    data_buffer[1] = data_PWM & 0x01;
    data_buffer[2] = (data_PWM >>1) & 0x01;
    data_buffer[3] = (data_PWM >>2) & 0x01;
    
```

```

data_buffer[4] = (data_PWM >>3) & 0x01;
data_buffer[5] = (data_PWM >>4) & 0x01;
data_buffer[6] = (data_PWM >>5) & 0x01;
data_buffer[7] = (data_PWM >>6) & 0x01;
data_buffer[8] = (data_PWM >>7) & 0x01;
    
```

```

for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
    PWM1_termodulasi[indeks] =
    fungsi_1PWM(data_buffer[indeks]);
};

//-----transmisi data PWM-----
-----
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0);
Delay(space); //SPACE
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1);
Delay(header); //PWM HEADER
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0);
Delay(space); //SPACE

for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
    GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1);
    Delay(PWM1_termodulasi[indeks]);
    GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0);
    Delay(space);
};
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0);
Delay(space);
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1);
Delay(stop);
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,0);
Delay(space);
GPIO_WriteBit(GPIOA,GPIO_Pin_4,1);
}
    
```

Source code untuk Fungsi decoding 1-PWM

```

unsigned char fungsi_decoder_1PWM(uint16_t
pulse) {
    uint16_t bit0_atas,
    bit0_bawah,bit1_atas,bit1_bawah;
    //bit0_atas = 7000; bit0_bawah = 5700;
    //speed 1
    //bit1_atas = 4500; bit1_bawah = 2800;

    bit0_atas = 750; bit0_bawah = 575; //speed
    2
    bit1_atas = 490; bit1_bawah = 280;

    if ((pulse >= bit0_bawah) && (pulse <=
    bit0_atas)) {
        return 0;
    };
    if ((pulse >= bit1_bawah) && (pulse <=
    bit1_atas)) {
        return 1;
    };
};

char decoder_1PWM(uint16_t data_mentah[40]) {
    unsigned char buffer[9];
    char data_diterima;
    for(indeks=1;indeks<9;indeks++) {
        buffer[indeks] =
        fungsi_decoder_1PWM(data_mentah[indeks]);
    };
    data_diterima = buffer[1] + buffer[2]*2 +
    buffer[3]*4 + buffer[4]*8 + buffer[5]*16 +
    buffer[6]*32 + buffer[7]*64 +
    buffer[8]*128;
    return data_diterima;
}
    
```



[Halaman ini sengaja dikosongkan]